

**PENENTUAN *HOT POINT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE THERMOVISI
PADA GARDU INDUK 150 KV PURWODADI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

BAHARUDDIN ANWAR

D400150008

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENENTUAN *HOT POINT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE
THERMOVISI PADA GARDU INDUK 150 KV PURWODADI**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

BAHARUDDIN ANWAR

D400150008

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



AGUS SUPARDI, S.T, M.T

NIK. 883

PERNYATAAN

HALAMAN PENGESAHAN

**PENENTUAN *HOT POINT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE THERMOVISI
PADA GARDU INDUK 150 KV PURWODADI**

OLEH

BAHARUDDIN ANWAR
D400150089

Telah dipertahankan di Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada Tanggal, 11 Mei 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi, S.T. M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, MT
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Umar, ST. MT
(Anggota 2 Dewan Penguji)

(.....) 2019

(.....)

(.....)

Dekan,



Dr. Sri Sunarjono, M.T, Ph. D
NIK. 628

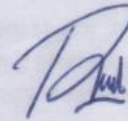
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kerjasama di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak dapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 15 Februari 2019

Penulis



BAHARUDDIN ANWAR
D400150008

PENENTUAN *HOT POINT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE THERMOVISI PADA GARDU INDUK 150 KV PURWODADI

Abstrak

Dalam usaha penyediaan energi listrik yang handal dan efisien, gardu induk mempunyai peranan penting untuk mengatur kebutuhan beban tenaga listrik dan sebagai pusat pengamanan komponen-komponen sistem tenaga listrik di suatu wilayah tertentu. Seringnya terjadi gangguan menjadi tolak ukur suatu sistem tenaga listrik apakah baik atau tidak dalam usaha penyediaan energi yang handal dan efisien. Salah satu tindakan pemeliharaan adalah pengukuran suhu dengan menggunakan *thermal imagers* yang biasa disebut dengan pengukuran thermovisi. Thermovisi ini adalah instrumen untuk memvisualisasikan dan mendeteksi suhu pada suatu objek yang ditangkap dan ditampilkan ke sebuah *display* dengan teknologi inframerah untuk mengetahui suhu panas pada sambungan terminal antar kabel konduktor dan mendapatkan nilai selisih suhu sambungan terhadap suhu konduktor. Penelitian ini membahas metode pengukuran nilai emisivitas menggunakan pendekatan kriteria ΔT untuk memperoleh nilai emisivitas, ditambah dengan analisis validasi untuk menguji keakuratan dan presisi sesuai parameter yang digunakan. Tujuan diadakannya penelitian ini untuk menganalisis hasil pengamatan thermovisi pada peralatan yang ada di gardu induk 150 kV Purwodadi dan memberikan rekomendasi mengenai langkah lanjutan yang akan diterapkan pada peralatan di gardu induk 150 kV Purwodadi setelah dilakukannya analisis thermovisi. Hasil pengukuran selisih suhu klem terhadap konduktor diambil sebanyak 36 sampel dan diketahui 31 dalam keadaan kondisi baik, dan 5 dalam kondisi ukur 1 bulan lagi. Perhitungan emisivitas mendapatkan hasil akurasi 96,22% dan presisi 0,9% dari setiap data di *bay* penghantar kudus 1.

Kata Kunci : Thermovisi, *Hot Point*, *Thermal imagers*, Emisivitas

Abstract

In an effort to provide reliable and efficient electricity, the substation has an important role in regulating the load requirements of electricity and as a security center for the components of the electric power system in a particular area. The frequent occurrence of interference becomes a benchmark for an electric power system whether it is good or not in an effort to provide reliable and efficient energy. One of the maintenance measures is temperature measurement using thermal imagers, commonly referred to as thermovision measurements. Thermovisi is an instrument for visualizing and detecting the temperature of an object that is captured and displayed on a display with infrared technology to determine the heat temperature at the terminal connection between conductor

cables and obtain the value of the difference in temperature of the connection to the conductor temperature. This study discusses the method of measuring the emissivity value using the kriteriaT criteria approach to obtain the emissivity value, plus a validation analysis to test the accuracy and precision according to the parameters used. The purpose of this study was to analyze the results of thermo-observation on the equipment at the Purwodadi 150 kV substation and provide recommendations for further steps to be applied to the equipment at the 150 kV Purwodadi substation after thermoanalysis analysis. The results of the measurement of the difference in clamping temperature of the conductor were taken as many as 36 samples and it was found that 31 were in good condition, and 5 were in a 1 month measurement condition. Emissivity calculations get an accuracy of 96,22% and a precision of 0.9% of each data in holy delivery bay 1.

Keywords : Thermovision, *Hot Point*, *Thermal imagers*, Emissivity

1.PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Energi listrik sangat berperan penting dalam menunjang kegiatan dan aktifitas masyarakat dan industri di era modern ini, karena peralatan penunjang aktifitas masyarakat dan industri membutuhkan energi listrik agar dapat beroperasi. Energi listrik yang diperlukan oleh masyarakat memiliki persyaratan-persyaratan dasar yang harus dipenuhi oleh penyedia dan pemasok energi listrik, yaitu dapat mencukupi kebutuhan energi listrik dengan kualitas dan kontinuitas yang baik. Energi listrik dengan kualitas dan kontinuitas yang baik didapat dengan cara melakukan pemeliharaan secara berkala guna menjaga kondisi setiap peralatan agar dapat mencegah gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem.

Salah satu gangguan yang sering dialami yaitu suhu panas pada bagian sambungan terminal antar kabel konduktor dengan peralatan pada gardu induk. Suhu (*hot point*) ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada di *switchyard*. Saat pengoperasian berlangsung peralatan gardu induk yang ada di *switchyard* sering mengalami pemanasan karena kerugian arus mengalir dalam konduktor yang disebabkan oleh hambatan serta banyaknya peralatan yang sudah tua. Faktor gangguan dari alam dan jarak antar peralatan *switchyard* yang saling

berdekatan juga dapat menyebabkan suhu panas pada bagian sambungan dan bagian terminal. Hal ini bisa berakibat fatal terhadap peralatan jika terjadi terus menerus tanpa adanya pemeriksaan rutin.

Berdasarkan hal tersebut dilakukan uji thermovisi pada gardu induk 150 kV Purwodadi. Uji pengukuran ini menggunakan bantuan alat yang bernama *thermal imagers* untuk mengetahui nilai suhu sambungan konduktor dengan melihat sinar inframerah yang dipancarkan oleh *thermal imagers* yang kemudian divisualkan melalui *display/* monitor. Prinsip kerja dari pengukuran ini yaitu, dengan menghitung nilai perbandingan energi yang diradiasikan oleh objek terhadap energi yang diradiasikan oleh benda hitam pada suhu dan gelombang yang sama. Radiasi thermal adalah energi yang dipancarkan oleh sebuah benda atau permukaan karena temperatur yang dimilikinya. Temperatur merupakan besaran skalar yang dimiliki oleh semua sistem termodinamika sehingga kesamaan suhu adalah syarat yang perlu dan cukup untuk keseimbangan thermal.

Alat untuk melakukan pengamatan dan pencarian nilai emisivitas objek yaitu alat *thermo imagers* tipe Flir T250. Dengan demikian dapat dideteksi peralatan yang ada di *switchyard* dalam keadaan baik atau rusak. Kemudian dari pengamatan tersebut akan dicari perhitungan dengan metode validasi untuk mendapatkan uji presisi dan akurasi yang baik. Pengukuran dilakukan pada bagian konduktor dan bagian klem yang ada pada *bay* penghantar Kudus 1 gardu induk 150 kV Purwodadi.

2. METODE

Tahapan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metode sebagai berikut :

2.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mencari referensi-referensi yang berkaitan dengan tugas akhir/skripsi, jurnal, majalah, karya ilmiah, serta buku-buku yang sesuai dengan materi dari pembahasan thermovisi dan analisis perhitungannya.

2.2 Pengumpulan Data

Data-data yang berhubungan dengan pengukuran thermovisi diperoleh di gardu induk 150 kV Purwodadi yang sudah diizinkan oleh pihak yang berwenang serta dilegalisasi oleh PT. PLN (Persero) APP Semarang.

2.3 Survei Lokasi

Lokasi sebagai pengumpulan data dan sebagai pembuatan judul tugas akhir adalah gardu induk 150 kV Purwodadi. Dengan objek yang akan diamati yaitu *bay* penghantar Kudus 1.

Letaknya berada di Jl. Semarang – Purwodadi No.27.

2.4 Pengukuran Thermovisi

Pengukuran thermovisi adalah salah satu teknik untuk melihat suhu dari jarak jauh menggunakan sinar inframerah dengan menggunakan alat *thermal imagers* yang kemudian ditangkap dan ditampilkan ke sebuah *display*.

2.5 Perhitungan suhu klem dan suhu konduktor

Melakukan perhitungan manual menggunakan persamaan pendekatan kriteria ΔT (Delta –T). Sampel yang diambil sebanyak 36 sampel yang ada di gardu induk 150 kV Purwodadi. Rumus perbandingan suhu klem dan suhu konduktor sebagai berikut :

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \quad (1)$$

Keterangan :	ΔT	= Selisih suhu klem terhadap konduktor
	I_{maks}	= Arus maksimal
	$I_{\text{saat thermovisi}}$	= Arus saat thermovisi
	T_{klem}	= Suhu klem
	$T_{\text{konduktor}}$	= Suhu konduktor

2.6 Perhitungan Emisivitas

Nilai emisivitas akan dicari menggunakan rumus perpindahan radiasi hukum Stefan Boltzman. Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas ini sebagai berikut :

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \rightarrow e = \frac{P}{\sigma T^4} \quad (2)$$

Keterangan : P = energi *thermal conductivity* (Alumunium = 237 W/m.K)

e = Emisivitas

σ = Konstanta Stefan Boltzman = $5,672 \times 10^{-8}$ Watt m⁻² K⁻⁴

T = Suhu mutlak (K)

2.7 Analisis Validasi

Merupakan suatu pembuktian hitungan terhadap parameter tertentu. Untuk membuktikan bahwa parameter tersebut sudah memiliki presisi dan akurasi yang baik atau tidak.

2.7.1 Uji Presisi

Untuk menguji tingkat presisi dari pengukuran, maka diperlukan *Coeffisien Variation* (CV) dan *Relative Strandard Deviation* (RSD). Sampel yang digunakan berjumlah 36 pada *bay* penghantar Kudus 1. SD dan CV dapat dihitung dari rumus berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \alpha)^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Keterangan : SD = *Standard devation* (simpangan baku)

$\sum (x - \alpha)^2$ = Jumlah total nilai emisivitas dikurangi rata-rata nilai emisivitas

n = Jumlah

$$CV = \left(\frac{SD}{\alpha}\right) \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan : CV = Variasi koefisien

SD = *Standard deviation* (simpang baku)

α = Nilai rata-rata emisivitas

2.7.2 Uji Akurasi

Uji akurasi merupakan sebuah kedekatan hasil analisis terhadap *Standard Reference Material* (RSM) yang sesungguhnya. Hasil hitung dari metode validasi terhadap nilai sebenarnya menggambarkan seberapa tinggi akurasi uji tersebut. Uji akurasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\%recovery = \left(\frac{(\alpha) - x \text{ benar}}{x \text{ benar}}\right) \quad (5)$$

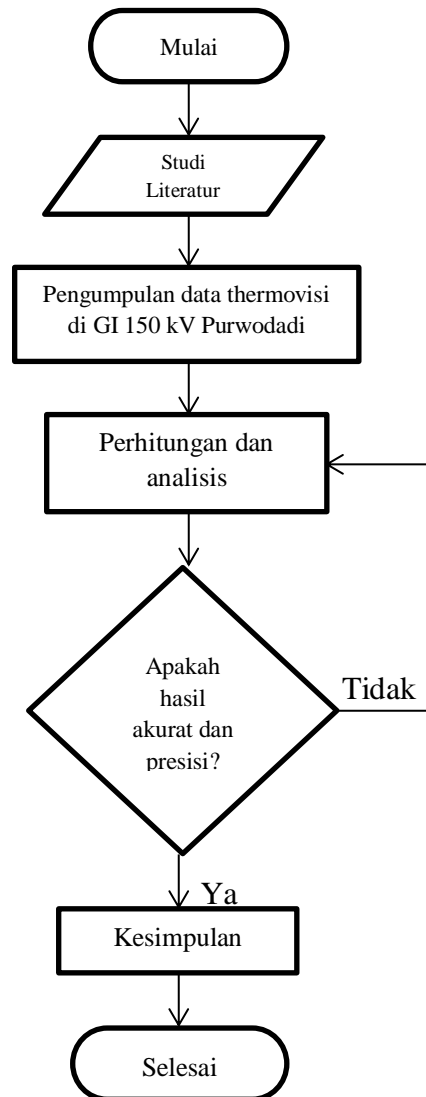
Keterangan : $\%recovery$ = Presentase nilai bias

α = Nilai rata-rata emisivitas

$x \text{ benar}$ = Nilai yang benar

2.8 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan urutan pengerjaan seperti ditampilkan pada *flowchart*.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Alat dan cara pengambilan data

Seperti halnya alat pengukur suhu lainnya, alat juga berfungsi untuk mengukur suhu pada suatu objek tetapi tanpa harus menyentuh objek tersebut. Hal ini bisa terjadi karena alat tersebut memancarkan sinar inframerah kemudian menangkapnya kembali radiasi dari objek yang diukur. Pengukuran suhu ini menggunakan alat thermovisi Flir T250 :



Gambar 2. Alat thermovisi Flir T250

Thermovisi memiliki parameter kondisi dalam menentukan suhunya sesuai rekomendasi buku PLN sebagai berikut :

1. $0^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ = kondisi baik
2. $10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ = ukur 1 bulan lagi
3. $25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ = rencanakan perbaikan
4. $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ = perbaikan segera
5. 70°C = kondisi darurat

Tabel 1. Rekomendasi Tindakan

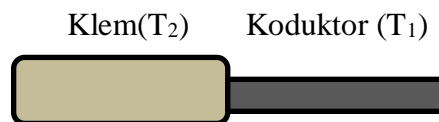
Perbedaan Temperatur	Tindakan yang direkomendasikan
Jika beban pada saat uji thermovisi kurang 10% dari arus tertinggi yang pernah dicapai	Periksa hasil ukur
Jika beda suhu pada beban maksimal kurang dari 10°C	Kondisi baik
Jika beda suhu pada beban maksimal	Ukur satu bulan lagi

lebih besar dan sama dengan 10°C tetapi kurang dari 25°C	
Jika beda suhu pada beban maksimal lebih besar dan sama dengan 25°C tetapi kurang dari 40°C	Rencanakan perbaikan
Jika beda suhu pada beban maksimal lebih besar dan sama dengan 40°C tetapi kurang dari 70°C	Perbaikan segera
Jika beda suhu pada beban maksimal lebih besar dan sama dengan 70°C	Kondisi darurat

Pelaksanaan pengukuran temperatur menggunakan alat thermovisi dilakukan pada dua titik untuk setiap objek titik ukur yaitu :

- Temperatur pada konduktor (T_1)
- Temperatur pada klem (T_2)

Berikut ilustrasi pengukuran suhu klem terhadap suhu konduktor dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. Ilustrasi pengukuran suhu

3.2 Perhitungan suhu klem dan suhu konduktor

Gardu induk sebagai unit yang menjalankan peralatan-peralatan tegangan tinggi pada *switchyard* tidak lepas dari adanya konduktor dan sambungan yang menyalurkan energi listrik dari satu peralatan ke peralatan lainnya. Konduktor ini tidak hanya dialiri oleh energi listrik saja tetapi juga bisa melepaskan suhu panas.

Pelaksanaan pengambilan dan pengukuran data thermovisi dilakukan oleh Spv dari gardu induk 150 kV Purwodadi yang dibantu oleh rekan operator yang bertugas. Adapun titik pengukuran antara lain adalah *bay* penghantar, *bay* transformator, *bay* kapasitor dan *bay* reaktor. Untuk dapat menghitung perbandingan suhu klem dan suhu konduktor yaitu dengan menggunakan rumus

pendekatan yang dituangkan dalam kriteria ΔT (Delta-T) dimana rumus ini merupakan kenaikan temperatur terhadap nilai suatu acuan yang ditentukan seperti, suhu sekitar saat pengukuran, ataupun temperatur maksimum yang diijinkan selama pengukuran.

Berikut ini contoh perhitungan dari suhu klem terhadap suhu konduktor menggunakan pendekatan kriteria ΔT (Delta – T). Perhitungan mengambil sampel data sebanyak 36 sambungan yang ada pada *bay* penghantar Kudus 1.

3.2.1 Perhitungan selisih suhu klem dan suhu konduktor (ΔT) pada *bay* penghantar Kudus 1

- Terminal LA fasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (25,4^0\text{C} - 21,4^1\text{C}) = 4,35^2\text{C}\end{aligned}$$

- Terminal PT/CVT fasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,9^3\text{C} - 20,1^4\text{C}) = 8,7^5\text{C}\end{aligned}$$

- Terminal CT arah PMS *line* fasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,4^6\text{C} - 21,5^7\text{C}) = 6,5^8\text{C}\end{aligned}$$

- Terminal CT arah PMT fasa R

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,2^9\text{C} - 21,4^{10}\text{C}) = 6,5^{11}\text{C}\end{aligned}$$

- Terminal CT arah PMT fasa T

$$\begin{aligned}\Delta T &= \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}}) \\ &= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,6^{12}\text{C} - 22,1^{13}\text{C}) = 7,6^{14}\text{C}\end{aligned}$$

- Terminal CT arah PMS *line* phasa T

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}})$$

$$= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (27,3^{15}\text{C} - 21,1^{16}\text{C}) = 9,7^{17}\text{C}$$

- Terminal PMS bus I arah PMT ph R

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}})$$

$$= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (25,1^{18}\text{C} - 21,1^{19}\text{C}) = 4,3^{20}\text{C}$$

- T. Klem *line Dropper* phasa R

$$\Delta T = \left(\frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{Saat thermovisi}}} \right)^2 \cdot (T_{\text{klem}} - T_{\text{konduktor}})$$

$$= \left(\frac{265 \text{ A}}{254 \text{ A}} \right)^2 \cdot (16,1^{21}\text{C} - 15,1^{22}\text{C}) = 1^{23}\text{C}$$

Tabel 2. Thermovisi *bay* penghantar kudus 1

Objek / Instalasi	Arus tertinggi yang pernah dicapai	Arus saat shooting	Suhu klem saat shooting	Suhu konduktor saat shooting	Selisih suhu klem terhadap pt konduktor	Tindak lanjut
	$I_m^2 \text{ (A)}$	$I_s^2 \text{ (A)}$	$I_{klr}^2 \text{ (A)}$	$T_{kds} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$(^\circ\text{C})$	$(^\circ\text{C})$
	A	b	C	d	$e = (a^2/b^2) \times (c-d)$	F
Bay Penghantar Kudus 1						
T. LA phasa R	265	254	25,4	21,4	4,3	Kondisi baik
T. LA phasa S	265	254	25,3	20,6	5,4	Kondisi baik
T. LA phasa T	265	254	25,1	20,3	5,4	Kondisi baik
T. PT/CVT phasa R	265	254	27,9	20,1	6,5	Kondisi baik
T. PT/CVT phasa S	265	254	27,7	24,3	6,5	Kondisi baik
T. PT/CVT phasa T	265	254	27,6	20,2	9,7	Ukur 1 bulan lagi
T. CT PMS Line ph R	265	254	27,4	21,5	8,7	Kondisi baik
T. CT PMS Line ph S	265	254	27,5	20,9	7,6	Kondisi baik
T. CT PMS Line ph T	265	254	27,3	21,1	9,7	Ukur 1 bulan lagi
T. CT PMT phasa R	265	254	27,2	21,4	6,5	Kondisi baik
T. CT PMT phasa S	265	254	28,9	21,8	6,5	Kondisi baik
T. CT PMT phasa T	265	254	27,6	22,1	7,6	Kondisi baik
T. PMS Bus I PMT ph R	265	254	25,1	21,1	4,3	Kondisi baik
T. PMS Bus I PMT ph S	265	254	25,5	20,4	5,4	Kondisi baik
T. PMS Bus I PMT ph T	265	254	25,6	19,7	6,5	Kondisi baik
T. PMS Bus I Bus ph R	265	254	25,9	19,7	6,5	Kondisi baik

T. PMS Bus I Bus ph S	265	254	25,8	19,6	6,5	Kondisi baik
T. PMS Bus I Bus ph T	265	254	25,7	18,4	7,6	Kondisi baik
T. PMS Bus II PMT ph R	265	254	26,2	20,1	6,5	Kondisi baik
T. PMS Bus II PMT ph S	265	254	26,1	21,2	5,4	Kondisi baik
T. PMS Bus II PMT ph T	265	254	26,4	21,1	5,4	Kondisi baik
T. PMS Bus II Bus ph R	265	254	25,3	19,9	5,4	Kondisi baik
T. PMS Bus II Bus ph S	265	254	24,5	21,3	4,3	Kondisi baik
T. PMS Bus II Bus ph T	265	254	25,4	19,4	6,5	Kondisi baik
T. Klem pada Bus I ph R	265	254	25,7	20,5	6,5	Kondisi baik
T. Klem pada Bus I ph S	265	254	26,8	24,5	3,2	Kondisi baik
T. Klem pada Bus I ph T	265	254	26,1	17,3	9,7	Ukur 1 bulan lagi
T. PMS Line CT ph R	265	254	27,1	17,7	9,7	Ukur 1 bulan lagi
T. PMS Line CT ph S	265	254	27,4	17,5	1,8	Ukur 1 bulan lagi
T. PMS Line CT ph T	265	254	26,8	18,8	8,7	Kondisi baik
T. PMS Line PT ph R	265	254	26,5	22,9	4,3	Kondisi baik
T. PMS Line PT ph S	265	254	25,9	21,2	5,4	Kondisi baik
T. PMS Line PT ph T	265	254	26,3	21,4	5,4	Kondisi baik
T. Klem Dropper ph R	265	254	14,4	13,8	1	Kondisi baik
T. Klem Dropper ph S	265	254	16,1	15,1	1	Kondisi baik
T. Klem Dropper ph T	265	254	16,7	13,2	4,3	Kondisi baik

Tabel 2 merupakan data hasil thermovisi serta perhitungan suhu klem terhadap suhu konduktor di GI Purwodadi 150 kV pada bulan Mei 2018 yang hasilnya telah dibulatkan jika angka 0,5 maka dibulatkan menjadi 1 ($0,5 \geq 1$). Dari data hasil perhitungan suhu di atas dapat dilihat bahwa terdapat 31 sambungan dalam kondisi baik dan 5 sambungan yang mengisyaratkan kondisi “ukur 1 bulan lagi”. Berikut ini beberapa contoh pada sambungan “Terminal PT/CVT fase T” dan “Terminal CT arah PMS *line* fase T” yang menunjukkan suhu di atas parameter yang ditentukan, walaupun terdapat beberapa sambungan yang menunjukkan suhu 9,7°C hal itu bisa dikondisikan baik tetapi perlu di waspadai dan perlu dipantau secara intensif. Dalam hal ini penulis menyimpulkan hal tersebut ke dalam kondisi “Ukur 1 bulan lagi”.

3.2 Perhitungan nilai emisivitas

Emisivitas adalah rasio dari total energi yang diradiasikan oleh permukaan bahan tersebut. Dengan kata lain emisivitas adalah kemampuan memancarkan energi inframerah oleh *black body* pada kondisi suhu dan panjang gelombang yang sama. Nilai emisivitas dari suatu bahan pada dasarnya sudah memiliki

nilainya masing-masing, namun tetap dapat berubah sesuai dengan kondisi bahan tersebut atau karena keadaan lingkungan dan pembiasan. Nilai emisivitas akan dicari dengan menggunakan rumus perpindahan kalor radiasi (Hukum Stefan Boltzman).

Berikut adalah contoh penjabaran perhitungan emisivitas diambil dari sampel suhu dari data *bay* penghantar Kudus 1 pada bulan Mei 2018 adalah sebagai berikut:

- Terminal LA phasa R (25²⁴C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 298,15^\circ \text{K}^4} = 0,5287$$

- Terminal PT/CVT phasa (28²⁵C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 301,15^\circ \text{K}^4} = 0,5080$$

- Terminal CT arah PMS *line* phasa R (27²⁶C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 300,15^\circ \text{K}^4} = 0,5148$$

- Terminal arah CT arah PMT phasa S (29²⁷C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 302,15^\circ \text{K}^4} = 0,5013$$

- Terminal PMS Bus II arah PMT phasa S (26²⁸C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 299,15^\circ \text{K}^4} = 0,5217$$

- T. Klem *line Dropper* fasa R (14²⁹C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 287,15^\circ \text{K}^4} = 0,6146$$

- T. Klem *line Dropper* fasa T (17³⁰C)

$$e = \frac{P}{\sigma T^4}$$

$$= \frac{237 \text{ W/m.K}}{(5,672 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}^{-4}) \cdot 290,15^\circ \text{K}^4} = 0,5895$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan nilai emisivitas dari hasil pengukuran thermovisi pada *bay* penghantar kudus 1 Gardu Induk 150 kV Purwodadi pada bulan Mei 2018:

Tabel 3. Emisivitas *bay* penghantar kudus 1

No	Nama	Suhu klem saat shooting (Celcius)	Nilai emisivitas
1	Terminal LA fasa R	25,4	0,5287
2	Terminal LA fasa S	25,3	0,5287
3	Terminal LA fasa T	25,1	0,5287
4	Terminal PT/CVT fasa R	27,9	0,5080
5	Terminal PT/CVT fasa S	27,7	0,5080
6	Terminal PT/CVT fasa T	27,6	0,5080
7	Terminal CT arah PMS Line fasa R	27,4	0,5148
8	Terminal CT arah PMS Line fasa S	27,5	0,5148
9	Terminal CT arah PMS line fasa T	27,3	0,5148
10	Terminal CT arah PMT fasa R	27,2	0,5148
11	Terminal CT arah PMT fasa S	28,9	0,5013
12	Terminal CT arah PMT fasa T	27,6	0,5080
13	Terminal PMS Bus I arah PMT ph R	25,1	0,5287
14	Terminal PMS Bus I arah PMT ph S	25,5	0,5287
15	Terminal PMS Bus I arah PMT ph T	25,6	0,5217
16	Terminal PMS Bus I arah Bus ph R	25,9	0,5217
17	Terminal PMS Bus I arah Bus ph S	25,8	0,5217
18	Terminal PMS Bus I arah Bus ph T	25,7	0,5217
19	Terminal PMS Bus II arah PMT ph R	26,2	0,5217

20	Terminal PMS Bus II arah PMT ph S	26,1	0,5217
21	Terminal PMS Bus II arah PMT ph T	26,4	0,5217
22	Terminal PMS Bus II arah Bus ph R	25,3	0,5287
23	Terminal PMS Bus II arah Bus ph S	24,5	0,5287
24	Terminal PMS Bus II arah Bus ph T	25,4	0,5287
25	T. Klem pada Bus I phasa R	25,7	0,5217
26	T. Klem pada Bus I phasa S	26,8	0,5148
27	T. Klem pada Bus I phasa T	26,1	0,5217
28	Terminal PMS Line arah CT phasa R	27,1	0,5148
29	Terminal PMS Line arah CT phasa S	27,4	0,5148
30	Terminal PMS Line arah CT phasa T	26,8	0,5148
31	Terminal PMS Line arah PT/CVT ph R	26,5	0,5217
32	Terminal PMS Line arah PT/CVT ph S	25,9	0,5217
33	Terminal PMS Line arah PT/CVT ph T	26,3	0,5217
34	T. Klem Line Dropper phasa R	14,4	0,6146
35	T. Klem Line Dropper phasa S	16,1	0,5977
36	T. Klem Line Dropper phasa T	16,7	0,5895
		Rata - rata	0,4622

Dari perhitungan emisivitas di atas, rata-rata emisivitas dari 36 sampel yaitu sebesar 0,4622 yang jika dibulatkan maka nilai tersebut termasuk ke dalam nilai RSM (emisivitas aluminium 0,5).

3.3 Analisis Validasi

Setelah ditemukan hasil hitung nilai emisivitas, metode selanjutnya yaitu uji presisi dan uji presisi untuk mendapatkan evaluasi dari uji presisi dan uji akurasi.

3.3.1 Uji Presisi

Uji presisi adalah parameter yang menunjukkan derajat antara hasil pengukuran, yang dihitung berdasarkan nilai *Standard Reference Material* (RSM). RSM yang digunakan adalah emisivitas ACSR Aluminium yang bernilai 0,5 yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc.* Untuk menguji presisi, maka diperlukan *Coeffisien Variation* (CV). Sampel yang digunakan berjumlah 36 pada masing-masing bay penghantar Kudus 1. CV akan diperoleh melalui persamaan yang akan dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 4. Validasi thermovisi *bay* penghantar kudus 1

No	Nama	X	A	$(x-\alpha)$	$(x-\alpha)^2$
1	Terminal LA phasa R	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
2	Terminal LA phasa S	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
3	Terminal LA phasa T	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
4	Terminal PT/CVT phasa R	0,5080	0,4622	0,0458	0,00209764
5	Terminal PT/CVT phasa S	0,5080	0,4622	0,0458	0,00209764
6	Terminal PT/CVT phasa T	0,5080	0,4622	0,0458	0,00209764
7	Terminal CT arah PMS Line phasa R	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
8	Terminal CT arah PMS Line phasa S	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
9	Terminal CT arah PMS line phasa T	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
10	Terminal CT arah PMT phasa R	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
11	Terminal CT arah PMT phasa S	0,5013	0,4622	0,0391	0,00152881
12	Terminal CT arah PMT phasa T	0,5080	0,4622	0,0458	0,00209764
13	Terminal PMS Bus I arah PMT ph R	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
14	Terminal PMS Bus I arah PMT ph S	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
15	Terminal PMS Bus I arah PMT ph T	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
16	Terminal PMS Bus I arah Bus ph R	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
17	Terminal PMS Bus I arah Bus ph S	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
18	Terminal PMS Bus I arah Bus ph T	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
19	Terminal PMS Bus II arah PMT ph R	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
20	Terminal PMS Bus II arah PMT ph S	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
21	Terminal PMS Bus II arah PMT ph T	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
22	Terminal PMS Bus II arah Bus ph R	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
23	Terminal PMS Bus II arah Bus ph S	0,5287	0,4622	0,0737	0,00543169
24	Terminal PMS Bus II arah Bus ph T	0,5287	0,4622	0,0665	0,00442225
25	T. Klem pada Bus I phasa R	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
26	T. Klem pada Bus I phasa S	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
27	T. Klem pada Bus I phasa T	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
28	Terminal PMS Line arah CT phasa R	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
29	Terminal PMS Line arah CT phasa S	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
30	Terminal PMS Line arah CT phasa T	0,5148	0,4622	0,0526	0,00276676
31	Terminal PMS Line arah PT ph R	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
32	Terminal PMS Line arah PT ph S	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
33	Terminal PMS Line arah PT ph T	0,5217	0,4622	0,0595	0,00354025
34	T. Klem Line Dropper phasa R	0,6146	0,4622	0,1523	0,02319529
35	T. Klem Line Dropper phasa S	0,5977	0,4622	0,1355	0,01836025
36	T. Klem Line Dropper phasa T	0,5895	0,4622	0,1273	0,01620529
Total					0,16591796

Perhitungan tabel 4 diambil dari rumus persamaan 3 dan persamaan 4 adalah sebagai berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x-\alpha)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,16591796}{36-1}} = 0,0047405131$$

Nilai SD yaitu 0,0047405131

$$CV = \left(\frac{SD}{\text{nilai SRM}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{0,0047405131}{0,5} \right) \times 100\%$$

$$= 0,9 \%$$

Nilai CV yaitu 0,9 %

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa variasi koefisien (CV) diperoleh nilai 0,9% dan ini dikategorikan lebih baik dari standar nilai variasi koefisien yaitu 2%. Jadi hasil perhitungan uji presisi ini dinyatakan sangat baik dan bisa dijadikan acuan tindak lanjut mengenai analisis uji presisi pada peralatan gardu induk 150 kV Purwodadi.

3.3.2 Uji Akurasi

Uji akurasi adalah parameter yang menunjukkan derajat antara hasil pengukuran yang sudah dihitung berdasarkan *Standard Reference Material* (RSM). Akurasi dinyatakan dalam perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan. Berikut adalah hitungan akurasi pada nilai thermovisi di bay penghantar Kudus 1 gardu induk 150 kV Purwodadi :

$$\% \text{Recovery} = \frac{\alpha - \text{Nilai RSM}}{\text{Nilai RSM}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,4622 - 0,5}{0,5} \times 100\%$$

$$= 3,78 \%$$

$$\text{Ditemukan akurasinya} = 100\% - 3,78\% = 96,22\%$$

Dari hasil perhitungan akurasi di atas, *bay* penghantar Kudus 1 memiliki tingkat akurasi sebesar 96,22%,

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis thermovisi di gardu induk 150 kV Purwodadi yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya mengenai perhitungan uji presisi dan uji akurasi dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Perhitungan selisih suhu klem terhadap konduktor dengan sampel 36 sambungan menghasilkan 31 sambungan dalam “kondisi baik” dan 5 sampel lainnya dalam keadaan “ukur 1 bulan lagi”. Kondisi tersebut didapat dari buku rakap pemeliharaan bulanan hasil thermovisi pada GI 150 kV Purwodadi pada bulan Mei 2018 pada sambungan *bay* penghantar Kudus 1.
- b. Perhitungan nilai emisivitas menghasilkan rata-rata emisivitas sebesar 0,4622
- c. Perhitungan uji presisi pada hasil thermovisi di *bay* penghantar Kudus 1 menunjukkan tingkat uji presisi sebesar 0,9% yang secara *Standard Reference Material* (RSM) yaitu $< 2\%$ yang merupakan standar presisi yang baik.
- d. Perhitungan tingkat akurasi pada hasil thermovisi di *bay* penghantar Kudus 1 menunjukkan tingkat akurasi sebesar 96,22%, dimana hasil tingkat akurasi tersebut masih dalam kondisi normal.

PERSANTUNAN

Penulis banyak mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang telah membantu dan memberi motivasi dalam penelitian naskah publikasi sebagai berikut :

- a. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang memberikan nikmat, rahmat, dan hidayahNya sehingga penulis bisa menyelesaikan mata kuliah tugas akhir.
- b. Kedua orang tua dan saudara yang selalu mendoakan dan memberi semangat.
- c. Bapak Agus S.T, M.T selaku pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir.
- d. Bapak Sarji selaku supervisor gardu induk 150 kV Purwodadi yang telah membantu dalam pengumpulan data.
- e. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2015 Mukti Insan Pangestu, Anugrah Setyo Wibowo, Bayu Jati, Dedy kharisma, Rahmat Apriyanto, Arif Hanandya, Ery, Abdul Azis, Aji Pranata, Fajar Baskoro Aji, Raika Syadat, Arkham Wildan, dan seterusnya yang telah memberi semangat kepada penulis dalam penyusunan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Usamentiaga, Ruben and friends. (2014). *"Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing"*. Department of Computer Science and Engineering, University of Oviedo, Spain.
- E. Yousif, Mahmoud. (2014). *"The Electromagnetic Radiation Mechanism"* International Journal of Fundamental Physical Sciences (IJFPS). University of Nairobi, Kenya
- Huges, Thomas W. (2001). *"Thermal Imaging and the Fourth Amendment"* American Journal Of Criminal Justice ; Reaserch Library.
- M. Omar, K. Kuwana and K. Saito, Christopher Couch. (2007). *"The Use of Infrared Thermograph Tecniqie to Investigate Welding Related Industrial Fires"* Clemson University, Clemson, SC 29634, USA.
- Roni Putra, Ramadhani. (2018). *"Thermovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur"*. Fakultas Teknik, University Muhammadiyah Surakarta.

- Francine Amon. (2009). *“Image Frequency Analysis for Testing of Fire Service Thermal Imaging Cameras”* National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
- S. Strurm, J. Paulus and F. Burger. (2015). *“Thermal-Electrical Interaction of Losses in Three-Core Submarine Power Cables”*. International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen, Czech Republic.
- R. Stephen, D. Douglass, M. Gaudry. (2002). *“Thermal Behaviour of Overhead Conductors”* Study Committe 22 – Working Group 12.